

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

**Optimalizace konstrukce pastorků
řemenového převodu zhotovených
metodou 3D tisku**

Optimizing of the Design of Belt Pulleys
Made by 3D Printing

Student:

Jan Knápek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Patrik Sniehotta, Ph.D

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Knápek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma: Optimalizace konstrukce pastorků řemenového převodu zhotovených
metodou 3D tisku
Optimizing of the Design of Belt Pulleys Made by 3D Printing
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je optimalizovat pastorky pro řemenový převod jízdního kola. Tyto pastorky se dají koupit u renomovaných výrobců, avšak pro prototypovou výrobu kol je lepší jejich výroba pomocí 3D tisku.

Požadavky:

- optimální kontakt mezi řemenem a pastorkem při záběru při dodržení provozních omezení,
- unášec mezi pastorem a nábojem/pavoukem z oceli,
- spojení unášeče a pastorku s minimem spojovacích elementů,
- minimalizace objemu 3D tisknutelného materiálu.

Cíle práce:

- konstrukční návrh převodníku i zadní řemenice, včetně unášeče,
- stanovení zátěžných sil,
- pevnostní výpočet namáhání zubů řemenových kol,
- pevnostní výpočet namáhání spojení unášeč řemenice,
- výkresová dokumentace pastorků a unášeců.

Seznam doporučené odborné literatury:

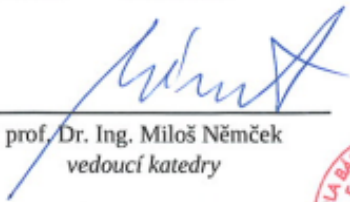
KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. *Začínáme s 3D tiskem*. Přeložil Jakub GONER. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-251-4876-1.
SRIVATSAN, T. S a T. S SUDARSHAN, ed. *Additive manufacturing: innovations, advances, and applications*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, [2016]. ISBN 978-1-4987-1477-8.
NOWAK, Renard, ed. *Rapid prototyping technology: principles and functional requirements*. Valley Cottage: Scitus Academics, [2017]. ISBN 978-1-68117-537-9.
MORAVEC, Vladimír; Jiří HAVLÍK. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 64 s. ISBN 80-248-0878-1.
MORAVEC, Vladimír. *Konstrukce strojů a zařízení II: čelní ozubená kola*. Ostrava: Montanex, 2001. ISBN 80-7225-051-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Patrik Sniehotta, Ph.D.**


Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019



prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry





prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. května 2019



.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019



.....
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Jan Knápek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Budovatelů 7, Nový Jičín

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KNÁPEK, J. *Optimalizace konstrukce pastorků řemenového převodu zhotovených metodou 3D tisku: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2019, 43 s. Vedoucí práce: Sniehotta, P.

Bakalářská práce se zabývá konstrukcí plastových řemenic, použitých u bicyklu. Na počátku práce je specifikována technologie 3D tisku. Dále jsou popsány materiály a výrobní technologie, běžně používané u metody 3D tisku. Před vlastním řešením práce je porovnán převod řetězem a řemenem. Vlastní řešení práce poté obsahuje konstrukci řemenic a jejich unášeců, srovnání použitelných materiálů a pevnostní výpočty. K řemenicím a jejich unášecům je v přílohách poskytnuta výrobní dokumentace.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KNÁPEK, J. *Optimizing of the Design of Belt Pulleys Made by 3D Printing: Bachelor Thesis*. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2019, 43 p. Thesis head: Sniehotta, P.

Bachelor thesis is dealing with design of plastic pulleys of bicycle. At the beginning of thesis is specified technology of 3D printing. As next are described, materials and ways used in 3D printing. In another chapter are compared bicycle, chain and belt transmission. Solution of thesis contains design of pulleys and drifts, comparison of available materials and calculations. Documentation for production is available for pulleys and drifts.

Poděkování

Děkuji panu doktoru Patriku Sniehoffovi a panu profesoru Miloši Němčkovi za jejich iniciativu a čas při řešení problematiky této práce.

Obsah

1	3D tisk.....	11
1.1.	Aplikace 3D tisku.....	12
1.2.	Plastové materiály (filamenty) používané k 3D tisku.....	14
1.2.1.	ABS (Akrylonitrilbutadienstyren).....	15
1.2.2.	PLA (Polylactid acid).....	15
1.2.3.	PET (Polyetyléntereftalát)	15
1.2.4.	PC (Polykarbonát).....	16
1.2.5.	PP (Polypropylen)	16
1.2.6.	Nylon.....	16
1.2.7.	PVA (polyvinylalkohol)	16
1.3.	Technologie užívané k 3D tisku plastových materiálů.....	17
1.3.1.	Fused Deposition Modeling (FDM).....	17
1.3.2.	Selective Laser Sintering (SLS).....	19
2	Převody jízdních kol	21
2.1.	Řetězový převod	21
2.2.	Řemenový převod	22
3	Optimalizace konstrukce pastorků řemenového převodu zhotovených metodou 3D tisku	23
3.1.	Řemen	24
3.2.	Řemenice	25
3.3.	Vedení řemene.....	26
3.4.	Volba materiálu řemenic a vedení řemene	27

3.5. Unášedce	28
3.6. Volba materiálu unášedců	30
3.7. Výpočet ohybového napětí v patě zubu	31
3.8. Výpočet napětí v patě zubu, přední řemenice, namáhaného ohybem.....	33
3.8.1. Analyticky	33
3.8.2. Metodou konečných prvků	34
3.9. Výpočet měrného tlaku v drážkovém spoji řemenic	36
3.10. Výpočet měrného tlaku v drážkovém spoji hlavního unášedce a přední řemenice	37
3.10.1. Analyticky	37
3.10.2. Metodou konečných prvků	38
5 Zdroje.....	41
6 Seznam obrázků	43
7 Seznam tabulek	45
8 Seznam příloh	46

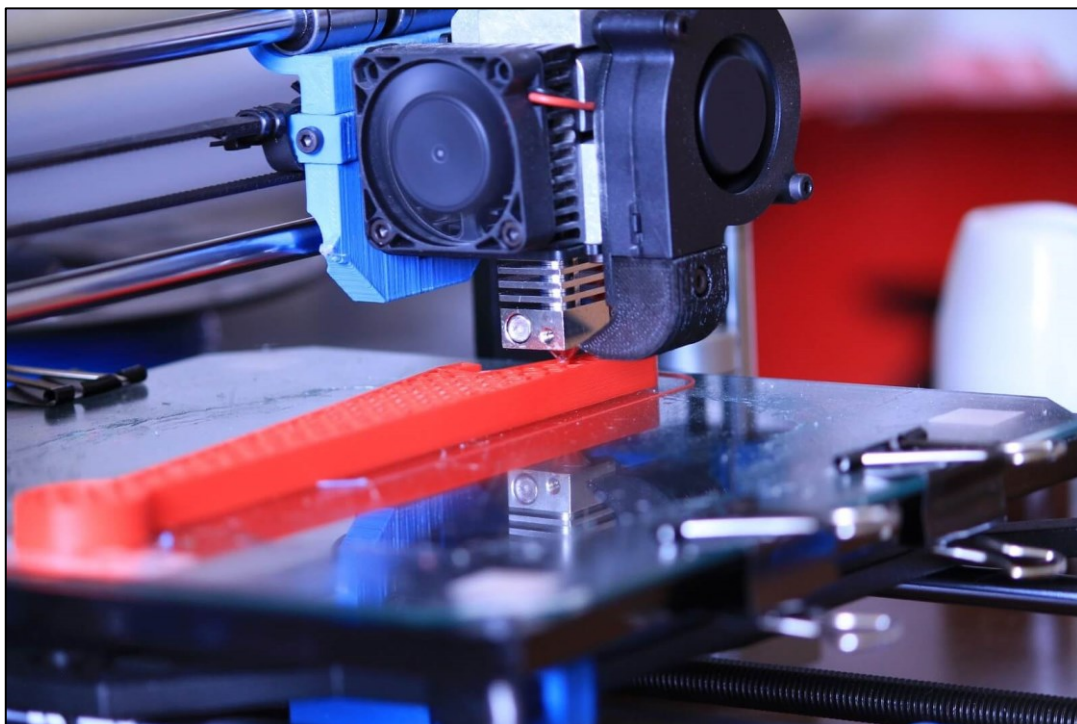
Úvod

Před uvedením dílu do výroby musí projít tento díl určitým vývojovým procesem. V tomto procesu je díl navrhován a optimalizován pro budoucí aplikaci. Vývoj dílu je časově náročný a 3D tisk v něm nachází velké uplatnění. Jakákoliv změna na návrhu dílu, může být díky metodě 3D tisku, takřka okamžitě fyzicky realizována. 3D tisk však nedosahuje tak velké produktivity jako jiné výrobní technologie proto je pro hromadnou výrobu zatím nevhodný.

1 3D tisk

3D tisk známý také jako aditivní výroba je technologický proces při kterém je z trojrozměrného digitálního (CAD) modelu vytvářen trojrozměrný model fyzický. [1]

Typickým zastupitelem technologie 3D tisku je tzv. fused deposition modeling neboli FDM. Tiskárny pracující na principu FDM, vytváří fyzický model, kladením tenkých na sebe navazujících vrstev materiálu. Výsledkem je objekt tvořený souborem těchto vrstev. [2]



Obrázek 1 – FDM 3D tiskárna [3]

Hlavním rysem oddělujícím 3D tisk od ostatních výrobních technologií je skutečnost že se jedná o aditivní proces. Což s energetickou a prostorovou nenáročností tvoří technologii jejíž provoz se obejde bez finančních, časových, ekologických a prostorových nevýhod/limitů jež doprovází ostatní výrobní technologie.

- Tvorba technické dokumentace
- Tvorba odpadního materiálu a opotřebení nástrojů u obrábění.
- Výroba formy/zápustky u slévání nebo zápustkového kování a jejich další skladování či manipulace.

Zmíněné technologie jsou také často spojeny s energetickou náročností, jež zvyšuje jejich náklady a zatěžuje ekologii. Záleží však na konkrétních případech a požadavcích na výrobek. [1]

1.1. Aplikace 3D tisku

Díky své všestrannosti a rychlosti je 3D tisk využíván zejména v průmyslu k výrobě prototypů. Metoda využívání 3D tisku při výrobě prototypů se nazývá Rapid prototyping. Rapid prototyping je hojně využíván od Velkých firem, přes firmy střední a malé až po drobné výrobce. [2, 4]

Při vývoji součástí se totiž může vyskytnout potřeba vyzkoušet součást při její funkci, potřeba jejího zasazení do montážního celku nebo kontaktu konstruktéra s fyzickou součástí. [5, 6]



Obrázek 2 – Produkty 3D tisku [2]

Drobní výrobci mohou 3D tisk využít k nespočtu účelů v různých odvětvích.

- Školství: 3D tisk vizuálních pomůcek, Náplň mimoškolních aktivit.
- Výchova dětí: Výroba hraček a rozvoj kreativity.
- Domácí opravy: Náhradní díly domácích spotřebičů a nástrojů.
- Upomínkové předměty: 3D Tisk ozdob.
- Koníčky: 3D tisk součástí stavebnic a RC modelů.
- Domácí vaření: Tisk potravin. Např. z čokolády.

Spotřebitelé se díky 3D tisku mohou částečně oprostít od zaběhlé marketingové strategie, kdy při selhání jedné součástky musí nechat nahradit celý modul v němž se součást nachází. To může být pro spotřebitele nákladné, a upotřebí tak možnost vytisknout si danou součást za cenu nižší. [2]

3D tisk tak v některých případech dovoluje spotřebiteli vyrobit si náhradní součást svépomocí, nebo přináší příležitost drobným podnikatelům, kteří výrobou náhradních součástí mohou vyplnit díru na trhu. [2]

Jedním z odvětví, ve kterých zažívá 3D tisk růst je medicína. Celková kvalita života ve státech je z velké části posuzována dle kvality a dostupnosti medicíny. Stav medicíny přímo ovlivňuje život každého z nás a stejně jako v průmyslu je u medicíny kladen velký důraz na vývoj a pokrok. Proto se jí tato technologie, jež nám dává nové možnosti nemohla vyhnout. Její využití v tak důležitém odvětví jako je medicína dokazuje že by k ní mělo být přihlíženo s vážností. [7]

Hlavními aplikacemi 3D tisku v medicíně jsou:

- 3D tisk tkáně a orgánů
- Příprava na náročné operace s využitím modelů nebo jejich využití při operaci
- 3D tisk chirurgických nástrojů
- 3D tisk protéz na míru



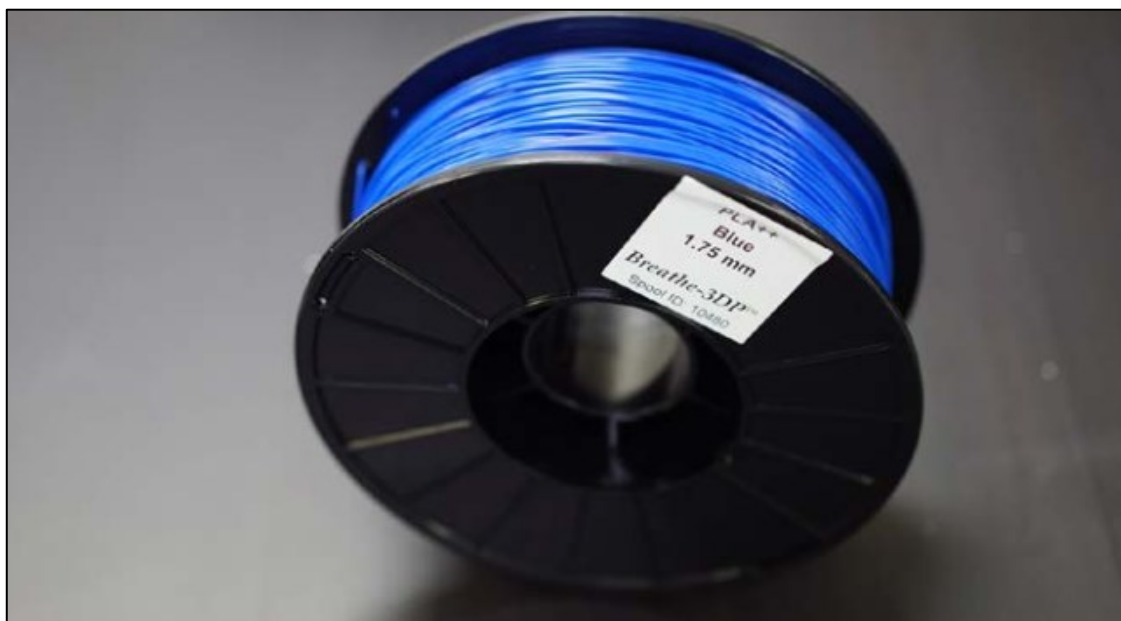
Obrázek 3 – Protéza vyráběná firmou Invisalign [2]

Společnost Invisalign jež působí na poli medicíny využívá 3D tisk k výrobě neviditelných rovnátek. Tyto rovnátka jsou dokonale přizpůsobena svému nositeli. Jak se časem mění pozice nositelova chrupu k lepšímu, jsou zubaři schopni díky 3D tisku přizpůsobovat této změně rovnátka nová. Současně společnost Invisalign produkuje více jak 17 milionů těchto rovnátek ročně. [2]

Nejrozšířenějším materiálem využívaným pro 3D tisk je plast. Především díky jeho dostupnosti a mechanickým vlastnostem.

1.2. Plastové materiály (filamenty) používané k 3D tisku

Na trhu plastových strun se vyskytuje obrovská škála výrobců, barev, provedení strun. Struna od dvou různých výrobců se často liší složením a také výslednými mechanickými vlastnostmi modelu. Záleží na tiskaři, jaké vlastnosti požaduje a tomu přizpůsobuje výběr struny a jejího složení. Při volbě struny je také nutno vzít v potaz jakou tiskárnu tiskář vlastní a kolik času, financí je ochoten investovat do materiálu a případných provozních nebo skladovacích rizik.



Obrázek 4 – Cívka tiskařské struny (filamentu) [2]

1.2.1. ABS (Akrylonitrilbutadienstyren)

ABS je nejběžněji používaný materiál pro 3D tisk plastu. Jedná se o materiál často používaný v automobilovém průmyslu a v elektronice. Je flexibilní a odolný proti úderům. ABS je tisknut při teplotách mezi 230 a 260 °C. [8]

Jedná se o tvrdý materiál schopný snadno odolávat teplotám od -20 do 80 °C. Kromě vysoké pevnosti je opětovně použitelný a může být chemicky svářen. Není biologicky odbouratelný. Má velkou tendenci se smršťovat. Z důvodů vyšších emisí je při tisku z ABS je doporučeno používat tiskárnu s uzavřenou pracovní plochou. [9, 10]

1.2.2. PLA (Polylactid acid)

Známé také jako kyselina polyaktická, je materiál, využívaný zejména díky své biologické odbouratelnosti. PLA se vyrábí za použití obnovitelných surovin, jako je kukuřičný škrob. PLA je jedním z nejjednodušších materiálů používaných k 3D tisku. Při použití tohoto materiálu, dochází po tisku ke smrštění. PLA nepotřebuje při tisku na rozdíl od ABS vyhřívanou základnu. PLA je také tištěno při nižší teplotě než ABS a to při teplotách mezi 190 až 230 °C. [2, 11]

PLA tuhne velmi rychle a důležité je také zmínit, že modely se mohou při kontaktu s vodou znehodnotit. Materiál je však konzistentní, snadno použitelný a je dodáván v široké škále barev, což jej dělá vhodným pro 3D tisk technologií FDM. Není tak odolný proti vysokým teplotám a je také méně pružný než ABS. PLA začíná měknout již při teplotě 60°C. [10]

1.2.3. PET (Polyetyléntereftalát)

Polyethyléntereftalát, neboli PET, je běžně používán při výrobě plastových lahví. PET je vhodný pro modely které přicházejí do styku s potravinami. Navíc je materiál poměrně tuhý a má dobrou chemickou odolnost. [10]

Z PET se tiskne při teplotách 75 až 90 °C. PET je běžně prodáván v průsvitné formě. Jeho hlavní výhodou je 100% recyklovatelnost. Při změně teplot může docházet ke změně transparentnosti. Díky své nízké tendenci ke zkroucení, je výhodné jej používat při tisku větších modelů. [8]

1.2.4. PC (Polykarbonát)

Polykarbonát (PC) je vysoce pevný materiál určený pro inženýrské aplikace. Je však náchylný k absorbování vlhkosti ze vzduchu, což může ovlivnit výkon tiskárny nebo odolnost modelu. Proto musí být PC uložen v hermeticky uzavřených obalech. Při 3D tisku z PC jsou vyžadovány velmi vysoké teploty 260 až 285 °C. Má velmi vysokou soudržnost vrstev a odolnost proti rázům. To z něj dělá materiál vhodný pro výrobu mechanicky namáhaných dílů o vysoké houževnatosti. Materiál má dobrou odolnost proti vysokým teplotám, deformuje se až od teploty 110° C. [9, 11]

1.2.5. PP (Polypropylen)

Polypropylen je částečně tuhý a lehký materiál, charakteristický svou elasticitou a odolností proti únavě. Je běžně používá při skladování a balení. Je velmi odolný proti chemikáliím a tvarově stabilní až do 105 °C. PP je pevný a má dobrou odolnost proti únavě, takže je ideální pro aplikace s nízkým zatížením a vysokým počtem cyklů. Jako jsou pohyblivé závěsy, řemeny, vodítka atd. [11]

Několik výrobců dokonce vytvořilo polypropylenové směsi, které mají zlepšenou houževnatost a činí je vhodným pro použití při vyšším zatížení. Nevýhodou tohoto materiálu je nízká odolnost vůči UV záření. [11]

1.2.6. Nylon

Nylon nebo také Polyamid je materiál populární v plastovém průmyslu zejména díky své houževnatosti a pružnosti. Nylonové vlákna typicky vyžadují k tisku teplotu o hodnotě blízké 250 °C, nicméně některé značky umožňují tisk při teplotách až 220 °C díky změně chemického složení. Mnoho tiskáren není schopno bezpečně dosáhnout 250 °C, takže verze materiálu s nižší teplotou tavení jsou velmi výhodné. [11]

Velká nevýhoda nylonových vláken je, že jsou hygroskopické, což znamená, že snadno absorbují vlhkost z prostředí, v kterém se nacházejí. Tisk nylonu po absorbování vlhkosti vede k problémům při tisku i po něm, takže skladování vláken je velmi důležité a vyžaduje zvláštní pozornost. [10, 11]

1.2.7. PVA (polyvinylalkohol)

PVA nebo polyvinylalkohol je měkký a biologicky odbouratelný polymer, který je vysoce citlivý na vlhkost. Při vystavení působení vody se PVA skutečně rozpustí, což z něj činí velmi užitečný nosný materiál pro 3D tisk. [8, 9]

Při tisku extrémně složitých tvarů nebo částečně uzavřených dutin lze použít PVA ve formě podpor a snadno je odstranit rozpouštěním v teplé vodě. PVA je pro tisk jednoduše zpracovatelný, tiskne se při teplotě 180 až 200 °C. Má také vysokou kvalitu detailů. [11]

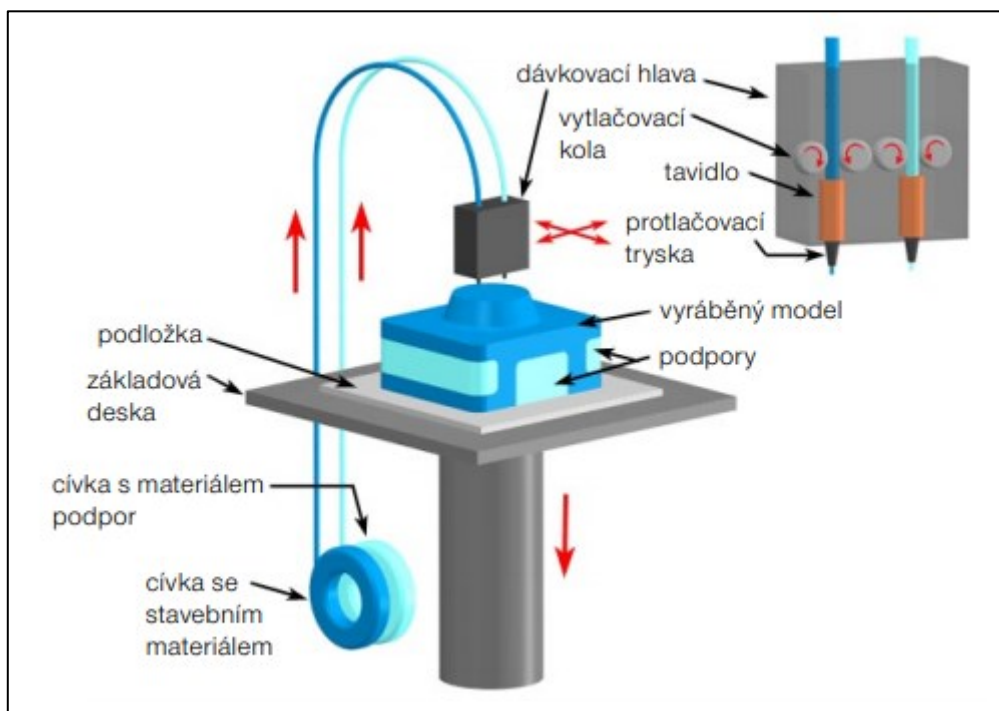
1.3. Technologie užívané k 3D tisku plastových materiálů

K 3D tisku se používá mnoho technologií jež se od sebe liší svými principy a vlastnostmi které musí být zváženy při nákupu 3D tiskárny.

1.3.1. Fused Deposition Modeling (FDM)

Fused Deposition Modeling je výrobní proces aditiva, který patří do skupiny technologií vytlačování materiálu. FDM je objekt vybudován selektivně nanesením roztaveného materiálu v předem určeném směru vrstvu po vrstvě. Použité materiály jsou termoplastické polymery a jsou ve formě vláken. FDM je nejpoužívanější technologie 3D tisku. V 3D tisku představuje obrovskou základnu. Jedná se často o první technologii 3D tisku, které jsou lidé v životě vystaveni. Návrhář by si měl být vědom schopností a omezení technologie při výrobě součásti formou FDM, protože jedině tak dosáhne nejlepšího výsledku. [2, 12]

Cívka z termoplastického vlákna je nejprve vložena do tiskárny. Jakmile tryska dosáhne požadované teploty, vlákno se přivádí do vytlačovací hlavy a do trysky, kde se roztaví. Extruzní hlava je připojena k tříosému systému, který umožňuje pohyb v směrech X, Y a Z. Roztavený materiál je vytlačován v tenkých pramenech a je nanášen vrstvou po vrstvě na předem určená místa, kde se ochlazuje a tuhne. Někdy se chlazení materiálu urychluje použitím chladicích ventilátorů připevněných na vytlačovací hlavě. Po dokončení vrstvy se základna posouvá dolů nebo dochází k posuvu trysky nahoru a je kladena nová vrstva. Tento proces se opakuje, dokud není součást dokončena. [13, 14]



Obrázek 5 – Popis funkce technologie FDM [12]

Většina systémů FDM umožňuje nastavení několika parametrů procesu, včetně teploty trysky i konstrukční plošiny, rychlosti sestavení, výšky vrstvy a rychlosti ventilátoru chlazení. Ty jsou obecně nastaveny operátorem, takže nemusí zajímat konstruktéra. Co je důležité z hlediska konstruktéra, je velikost a výška vrstvy. [2, 14]

Dostupná velikost sestavení 3D stolní tiskárny je obvykle u neprofesionálních zařízení 200 x 200 x 200 mm, zatímco u průmyslových strojů to může být až 1000 x 1000 x 1000 mm. Pokud je preferována malá velikost zařízení (například pro snížení nákladů), velký model může být rozdělen na menší části a poté sestaven. [14]

Typická výška vrstvy používaná se u FDM pohybuje mezi 50 a 400 μm a může být stanovena při objednávce. Menší výška vrstvy vytváří hladší části a přesněji zachycuje zakřivené geometrie, zatímco větší výška produkuje díly rychleji a za nižší cenu. Nejčastěji se používá výška vrstvy 200 μm . [14]

Mezi výhody technologie FDM patří rozmanitost použitelných materiálů při tisku touto technologií. Mezi použitelné materiály při tisku FDM patří:

- PEEK, TPU, PA, PEI, PC, PPE, PP, PLA, ABS, HIPS

Povrch modelů vyrobených technologií FDM lze dokončovat mnoha způsoby. Mezi ty nejčastější patří: broušení a leštění, natírání, vyhlazování výpary, epoxidové nátěry a pokovování. [9]

1.3.2. Selective Laser Sintering (SLS)

Technologie SLS používá laser k vytvrzování a propojení malých zrn z nylonových a elastomerových materiálů do vrstev v trojrozměrné struktuře. Laser vždy vytvrdí jednu vrstvu tvořenou naprogramovanou cestou laseru a podkladem z prášku. Po vytvoření jedné vrstvy se lože snižuje a další vrstva je postavena na vrstvě stávající. Lůžko pak pokračuje dolů, dokud není každá vrstva postavena a model dokončen. [2, 12, 14]

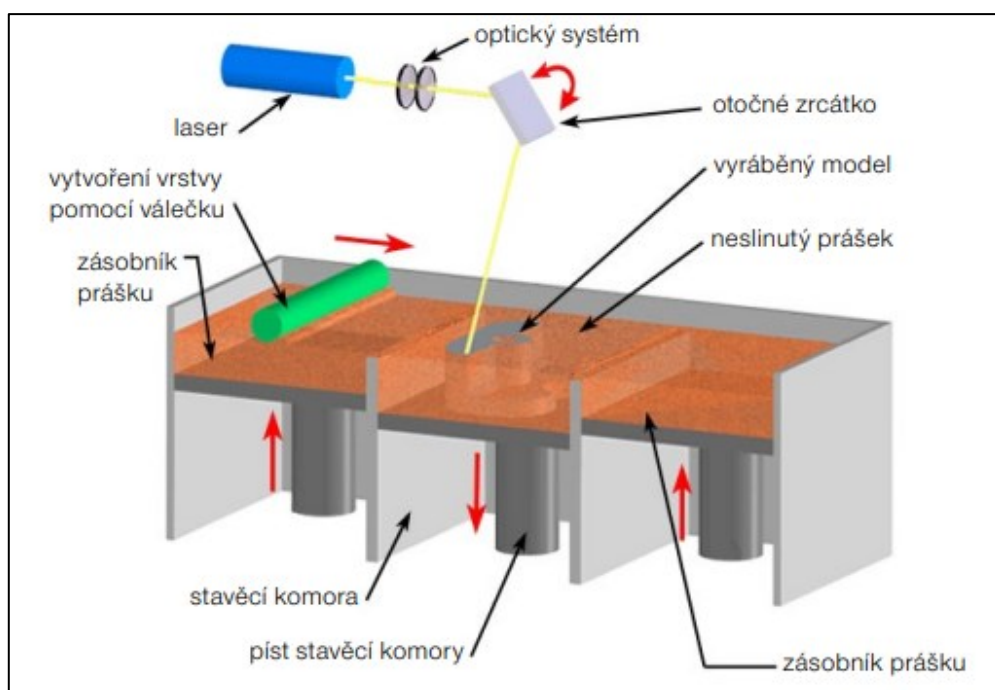
Jednou z hlavních výhod SLS je to, že k vytvoření modelu nevyžaduje podpory, které využívá mnoho dalších technologií 3D tisku, aby zabránily zhroucení konstrukce. Vzhledem k tomu, že je model tvořen v práškovém loži, nejsou potřebné žádné podpurné materiály, což šetří náklady a umožňuje rychlejší výrobu. [14]

Po tisku jsou části zcela zapouzdřeny v nevytvrzeném prášku a zásobník na prášek musí vychladnout předtím, než mohou být součásti vytaženy. To může trvat značné množství času (až 12 hodin). Části jsou pak vyčištěny stlačeným vzduchem nebo jinými tryskacími médii a jsou připraveny k použití nebo dalšímu zpracování. Zbývající nezpracovaný prášek se shromažďuje a může být znovu použit (prášek SLA je však jen 50% recyklovatelný). [14]

U systému SLS jsou výrobcem stroje předem nastaveny téměř všechny parametry procesu. Výchozí použitá výška vrstvy je 100-120 mikronů. Z důvodu absence lze SLS použít k vytvoření volných tvarů, které nelze vyrobit žádnou jinou metodou. Při tisku SLS je velmi důležité využití celého objemu zařízení, zejména u malých produkcí. U tisku technologií SLS nezáleží na počtu součástí, ve stejné pracovní výšce bude výroba trvat zhruba stejně dlouho. To protože laserové spékání jedné vrstvy je vždy stejně rychlé a laser bude muset projet stejné množství vrstev. [12, 14]

Nejvíce používaným materiálem pro SLS je polyamid 12 (PA 12), známý také jako Nylon 12. Cena za kilogram prášku PA 12 činí přibližně 50 až 60 dolarů. Jiné technické termoplasty, jako PA 11 a PEEK, jsou také k dispozici, ale nejsou tak široce používány. Polyamidový prášek může být naplněn různými přísadami (jako jsou uhlíková vlákna, skleněná vlákna nebo hliník) pro zlepšení mechanického a tepelného chování vyráběné části SLS. Materiály naplněné přísadami jsou obvykle křehčí a mohou mít vysoce anizotropní chování. [10, 12]

Mez pevnosti součástí vyrobených metodou SLS při použití již zmíněného polyamidu 12 je kolem 48 MPa při prodloužení 18% ve směru kolmo na směr kladení vrstvy. 42 MPa a prodloužení 4% poté ve směru rovnoběžném se směrem kladení vrstvy. Typická součást vyrobená technologií SLS je z 30% porézní. [12]



Obrázek 6 – Popis funkce technologie SLS [12]

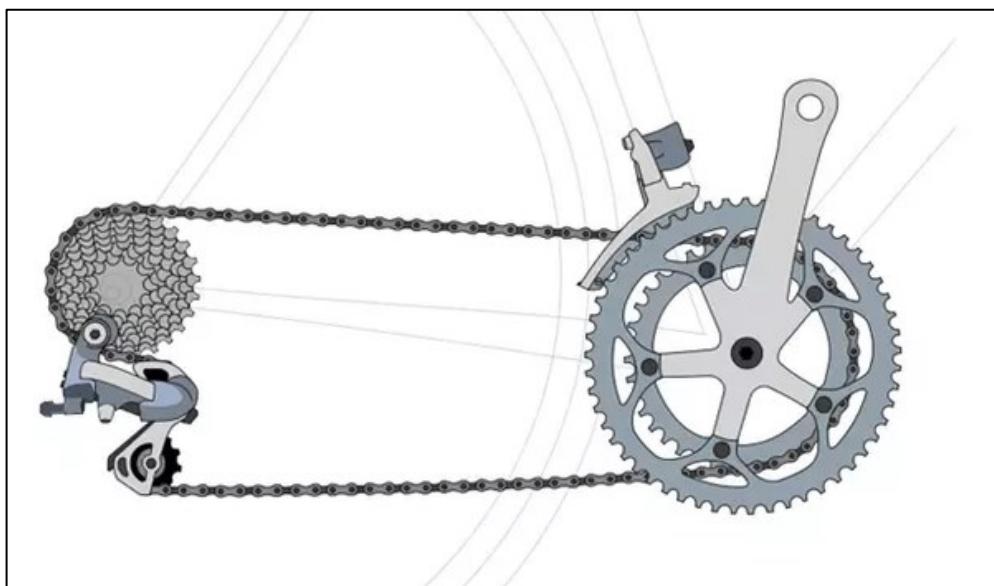
SLS zařízení se prodávají pouze v průmyslových formách. Kvůli jejich ceně nejsou vhodná pro domácí použití. Pro představu současná cena zařízení Fuse 1 od firmy Formlabs začíná na hodnotě 12 099 €.

2 Převody jízdních kol

U sériových jízdních kol, které jsou poháněny lidskou silou je takřka výhradně používán řetězový převod. Některé firmy jako třeba Continental jej však nahradily převodem řemenovým. Firma Continental tento systém uvedla na trh jako Conti® Drive System.

2.1. Řetězový převod

Řetězový převod se skládá ze dvou základních částí. Řetězu a řetězových kol tzv. řetězek. Tyto součásti bývají vyrobeny z oceli. Dodatečně se k převodu přidává řadicí systém. Tento systém se skládá z přesmykače a přehazovačky. Řadicí systém je umístěn přímo v převodu. Většinou je vyroben kombinací plastových a ocelových dílů.



Obrázek 7 – Řetězový převod jízdního kola [13]

Vzhledem k použitému materiálu u těchto převodů musí být zajištěno mazání řetězu. Řetěz musí být mazán pravidelně. Jinak dochází k velkým ztrátám. Mazivo na sebe váže, velké množství nečistot. Proto je nutné tento mechanismus pravidelně čistit.

Jedná se o relativně drahý a hlučný mechanismus. Účinnost tohoto převodu je při kvalitní údržbě až 98%. Při nedodržení údržbových požadavků řetězu však jeho účinnost velmi klesá. Při změně převodového stupně může dojít k vyvlečení řetězu. [16]

2.2. Řemenový převod

Oproti řetězovému převodu, bývá používán u jízdních kol spíše zřídka. Používá se nejčastěji u elektro kol. Skládá se z řemene a řemenových kol (řemenic). Konstrukce řemenu nedovoluje umístění systému řazení přímo na převodu. Proto musí být k tomuto převodu přiřazeny další převodovky, umístěny mimo řemenový převod. Převodovky jsou zakomponovány v rámu, nebo v náboji zadního kola. Některé konstrukce převodu vyžadují pro nasazení řemene rozebíratelný rám



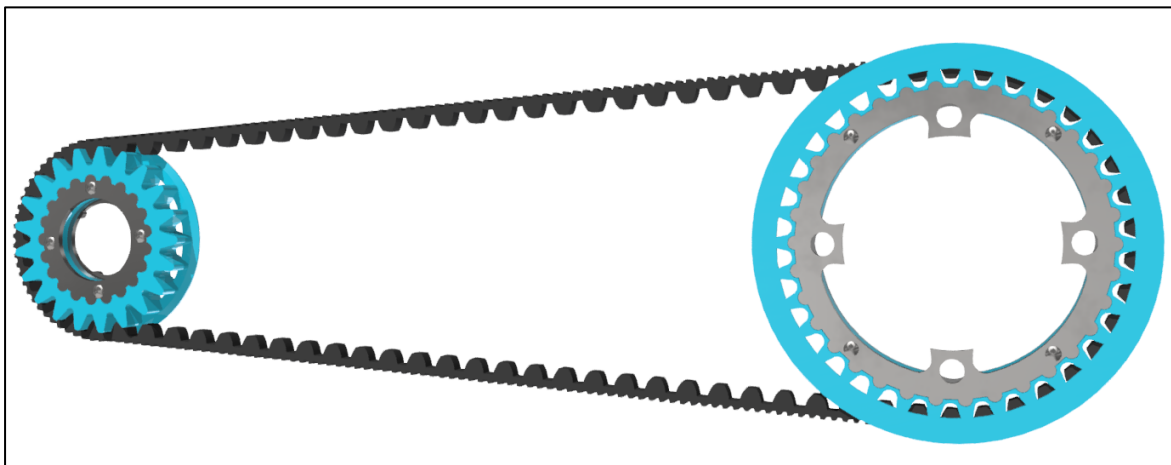
Obrázek 8 – Řemenový převod jízdního kola [15]



Obrázek 9 – Náboj zadního kola s převodem [15]

Řemenový převod je při běžném provozu takřka neslyšitelný, a zajišťuje velmi plynulý chod. Jedná se o takřka bezúdržbový převod. Nevyžaduje mazání ani čištění. Účinnost je ve srovnání s řetězovým převodem v podstatě srovnatelná. Z důvodu absence maziva, účinnost není tolik ovlivněna nečistotami. Řemenový převod je dražší variantou. [17]

3 Optimalizace konstrukce pastorků řemenového převodu zhotovených metodou 3D tisku



Obrázek 10 – Návrh řemenového převodu

Jedná se o převod jízdního kola. Běžně používaný řetězový převod je v této práci nahrazen převodem řemenovým. U řetězového převodu je použit řetěz a ocelová řetězová kola. Zde je však nahrazuje řemen a plastové řemenice vyrobené technologií 3D tisku.

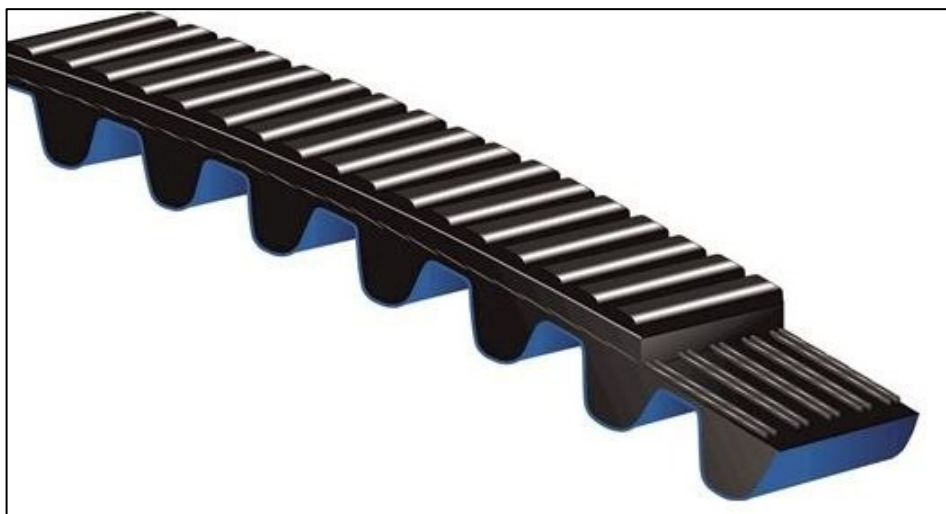
Tyto řemenice jsou nýty spojeny s ocelovými unášeči. Kovový unášec na velké řemenici slouží k přenosu točivého momentu ze šlapátek na velkou řemenici. Z velké řemenice je poté točivý moment přenášen na ozubený řemen. Ten zapadá do zubových mezer obou řemenic a přenáší moment na malou řemenici. Malá řemenice je také spojena nýty s kovovým unášečem. Kovový unášec na malé řemenici přenáší moment dále na spojku a zadní kolo bicyklu.

Parametry jako počty zubů na jednotlivých řemenicích, průměry řemenic, rozteč řemenic a délka řemene byly voleny na základě konzultace s vedoucím práce.

Při konstrukci řemenic bylo dbáno na minimalizaci tisknutého materiálu při zachování bezpečné funkčnosti.

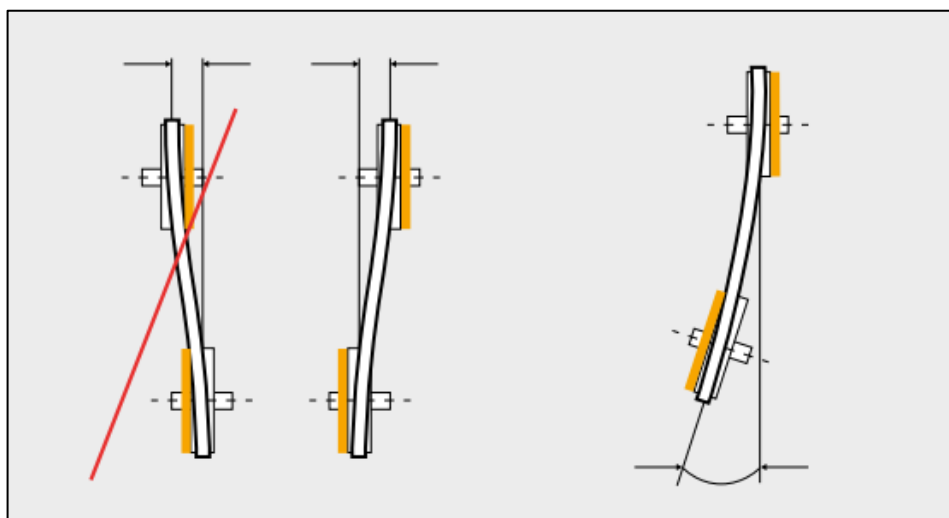
Při návrhu spoje mezi pastorky a unášeči bylo dbáno na použití co nejmenšího počtu spojovacích elementů a zachování bezpečné funkčnosti.

3.1. Řemen



Obrázek 11 – Řemen

Tento převod byl navržen pro standardizovaný řemen s profilem MGT. Rozteč tohoto řemene je 14 mm, šířka 8 mm a délka 1190 mm. Řemen má 85 zubů.

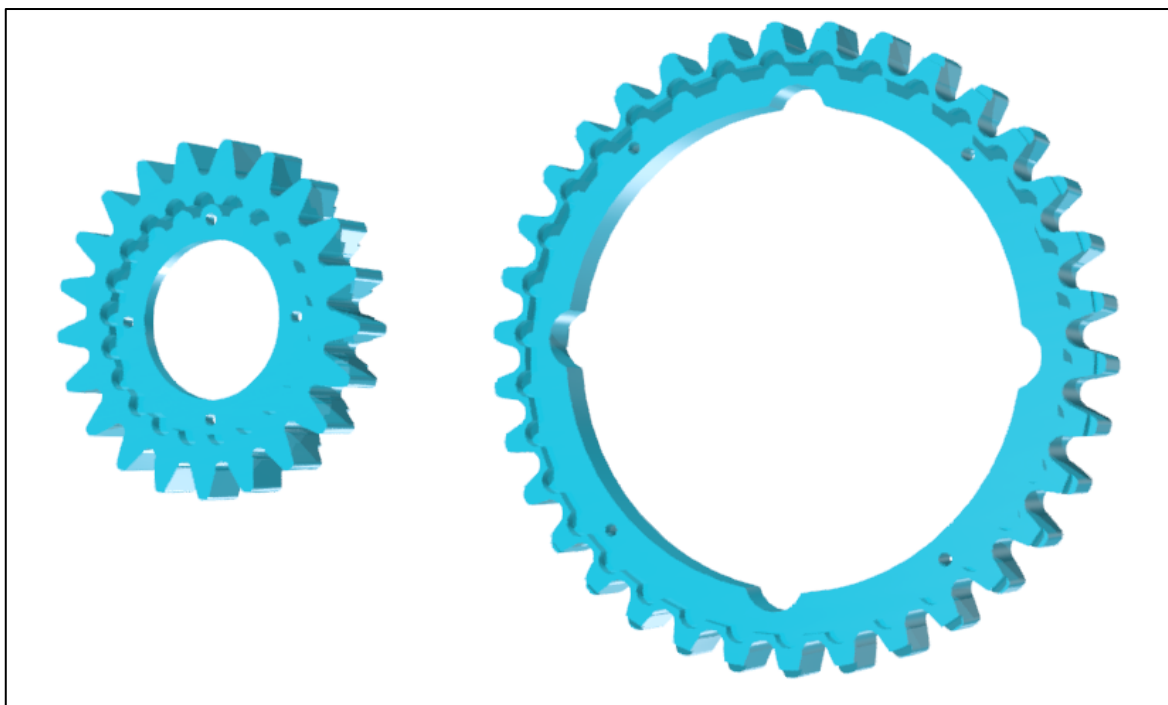


Obrázek 12 – Požadavky na montáž řemenic

U tohoto převodu nesmí být řemenice vůči sobě přesazeny více než o 3 mm v zobrazeném směru. Jinak může dojít k poškození nebo vyvléknutí řemene. Také úhel, který mezi sebou řemenice svírají nesmí být větší než $0,5^\circ$.

Řemenice musí být namontovány tak, že vedení řemene na nich umístěných bude umístěno od sebe. Ne proti sobě. Jinak by mohlo docházet k zadíraní řemene o vedení.

3.2. Řemenice



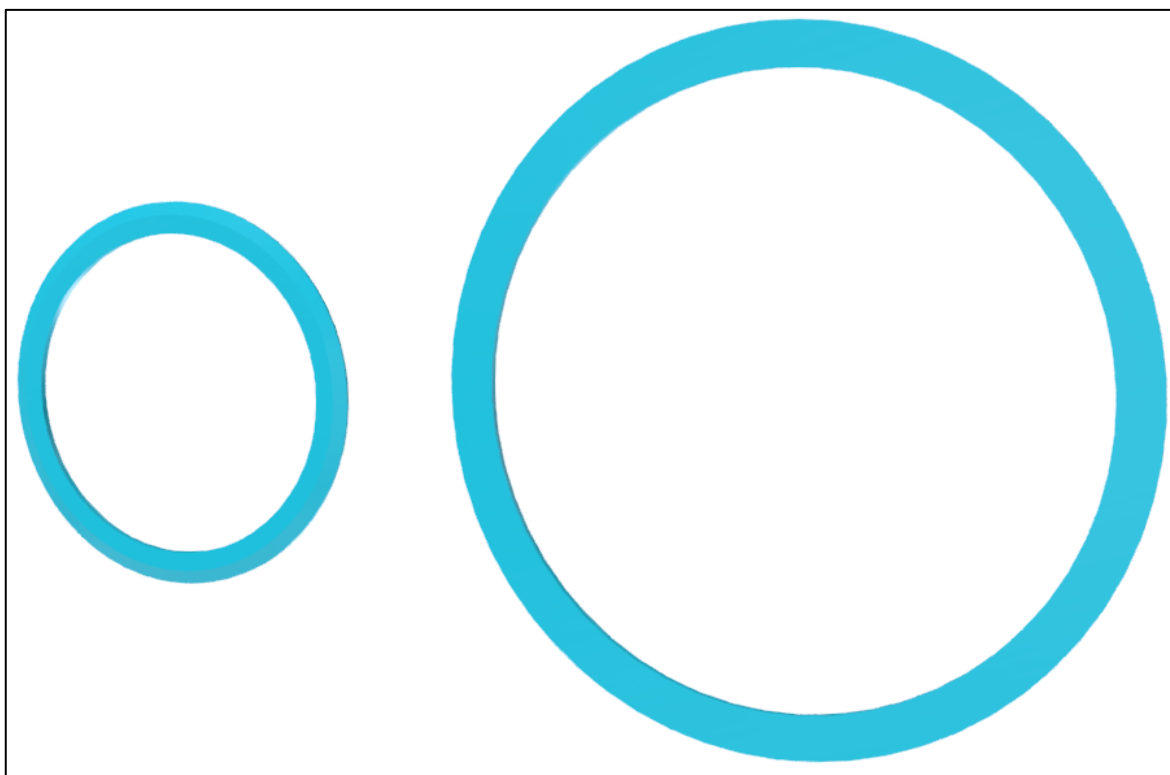
Obrázek 13 – Řemenice

K výrobě řemenic by mohla být použita i technologie vstřikování plastu do forem. Tato technologie je však velmi nákladná. Cena vstřikovacího lisu začíná kolem půl milionu korun. Velmi nákladná je také vstřikovací forma jejíž cena záleží na velikosti, složitosti a počtu výrobků na formu. Technologie vstřikování také vyžaduje zkušenější obsluhu. Při zavádění vstřikovacího procesu do výroby také přítomnost odborníků, často z externí firmy. To stojí další čas a peníze. Vstřikovací lis také zabírá velké množství prostoru a je energeticky náročný.

Tato technologie většinou dosahuje návratnosti až při tisícových sériích. Pro prototypovou výrobu je proto nevhodná. Také je nevhodná z toho důvodu že design prototypů se často mění. Jakákoliv designová změna u součástí vyrobených vstřikováním znamená změnu i designu formy. Ve většině případů proto musí být vyrobena forma nová. To je velmi nákladné. Součásti, vyrobené vstřikováním mají však obecně lepší mechanické vlastnosti. Jsou totiž vyráběny pod vysokým tlakem a bývají

spojitější. Jelikož jsou řemenice zamýšleny pro prototypovou výrobu byl jako výrobní technologie zvolen plastový 3D tisk. Hlavní výhodou této technologie je její adaptivita. Při jakékoli změně designu součásti, stačí pouze změnit její CAD model a součást je připravená k výrobě. Cena desktopových FDM 3D tiskáren začíná na 15 000 Kč. Její velikost je asi 40 cm³.

3.3. Vedení řemene



Obrázek 14 – Vedení řemene

Vedení řemene je nutno použít především z důvodu toho, aby se řemen nevyvlekl z řemenice. Předpětí řemene je natolik silné, aby při běžném provozu zajistilo napnutí, které nedovolí řemenu se z řemenice vyvléct. Však při jeho poklesu by bez vedení mohlo dojít k vyvlečení. Bez vedení by také mohlo dojít k vyvlečení řemene při průjezdu terénem.

Vedení je vyrobeno z PLA nebo ABS stejně jako řemenice, na které je umístěno. K jeho výrobě je také využita technologie 3D tisku. Je však vyrobeno samostatně. V ideálním případě by bylo nejlepší vytisknout vedení jako jeden celek s řemenicí. To však není možné, jelikož vlivem geometrie těchto dílů by při tisku došlo k deformacím jejich tvaru.

Síly působící na vedení jsou malé. Proto je mezi řemenicí a vedením volen lepený spoj. Lepený spoj musí splňovat odolnost vůči vodě, teplotám do 60 °C nízkým dynamickým silám. Jako lepidlo byl zvolen Loctite super attack - all plastic. Toto lepidlo splňuje všechny požadavky, a navíc je cenově dostupné.

Lepení proběhne tak, že se nejprve nanese na všechny lepené plochy aktivátor. Po 2 minutách se bodově nanese lepidlo na stykové plochy řemenice. Poté se na plochy řemenice přitiskne vedení řemene. Celek se ihned položí plochou vedení na stůl a mírně zatíží na 30 sekund. Součásti se poté nechají v 8 hodin klidu.

3.4. Volba materiálu řemenic a vedení řemene

Po konzultaci s vedoucím práce byly jako dva hlavní materiály vybrány PLA a ABS. Tyto materiály patří na poli 3D tisku mezi nerozšířenější. Jsou cenově dostupné a mají velmi dobré mechanické vlastnosti.

Nevýhodou PLA oproti ABS je například jeho obecná náchylnost na kontakt s vodou a vlhkým prostředím. V současnosti jsou však již dostupné struny z PLA, které při kontaktu s vodou podléhají zanedbatelné degradaci. Jeho výhodou je však ekologická odbouratelnost.

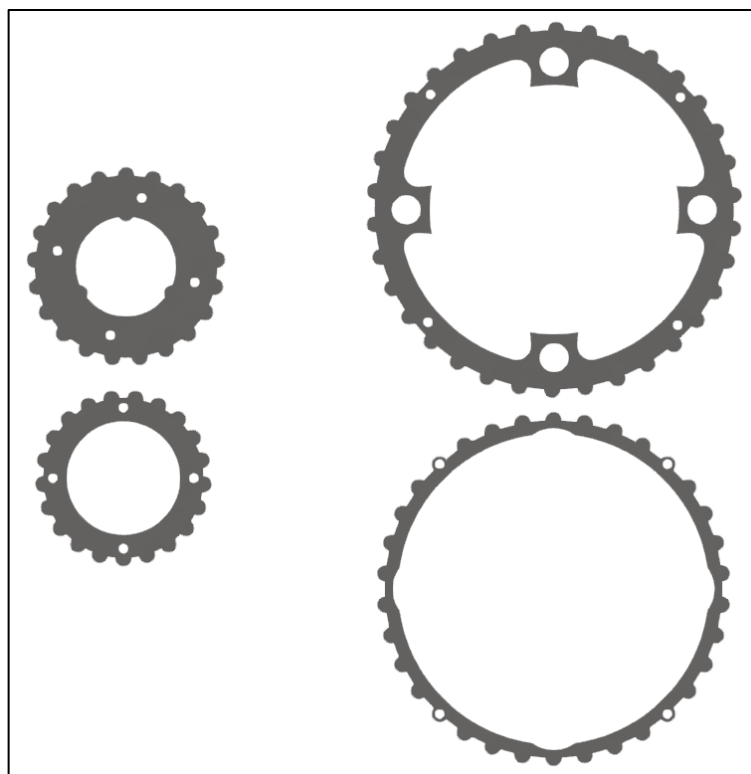
Obecné vlastnosti ABS a PLA srovnávám v tabulce na druhé straně.

- Hodnoty uvedené v procentech jsou myšleny ve srovnání s ostatními běžně používanými materiály pro 3D tisk
- Zeleně vyznačené buňky označují vlastnost, v které je materiál lepší
- Vysoká hodnota nepříznivosti emisí k lidskému zdraví a pohodlí, vyžaduje použití tiskárny s krytým výrobním prostorem.
- Nezbytnost použití vyhřívané podložky zvyšuje energetickou náročnost a cenu tiskárny

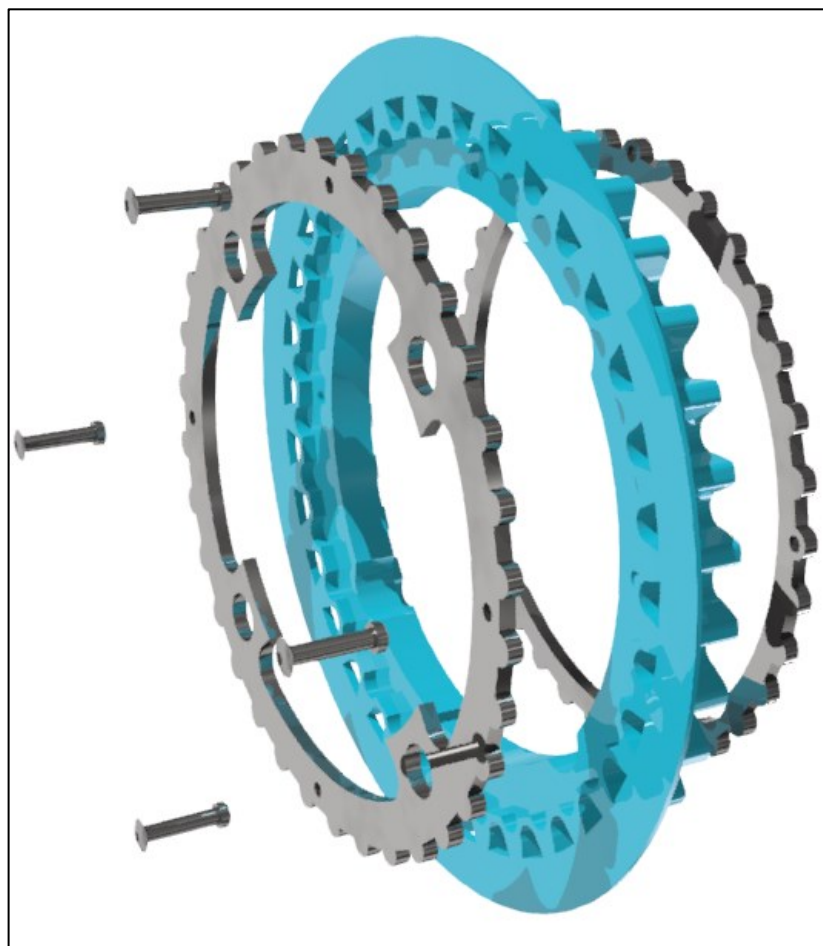
Tabulka 1 – Porovnání vlastností ABS a PLA

Vlastnost	ABS	PLA
Mez kluzu	40 MPa	50 MPa
Tuhost	50 %	75 %
Odolnost vůči nárazu	80 %	40 %
Maximální funkční teplota	98 °C	60 °C
Hustota	1,04 g/cm ³	1,24 g/cm ³
Cena za kg	250-1000 Kč	250-1000 Kč
Vyhřívání základny pro tisk	Nezbytné	Volitelné
Ekologická odbouratelnost	Ne	Ano
Nepříznivost emisí vznikajících při tisku	80 %	10 %

3.5. Unášče



Obrázek 15 – Unášče

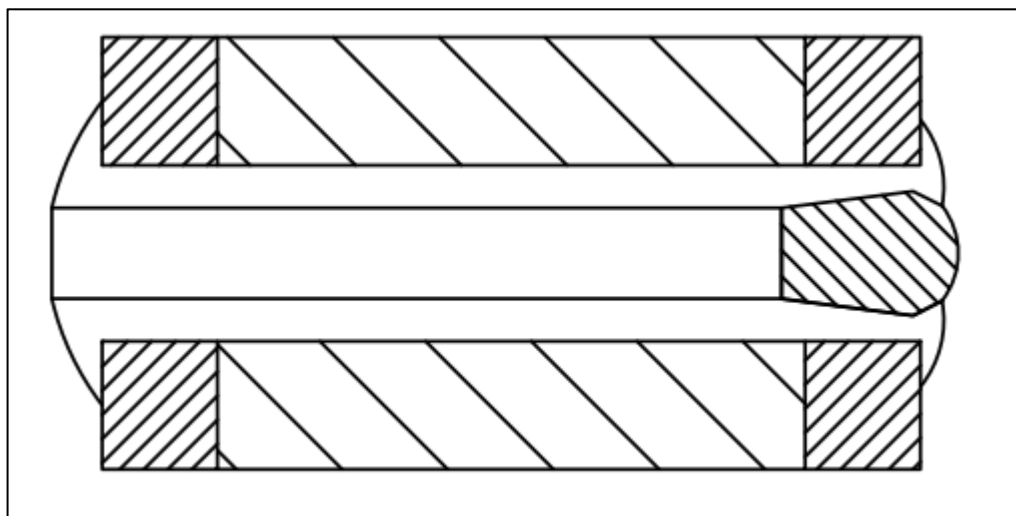


Obrázek 16 – Rozpad přední řemenice

Na každé řemenici jsou umístěny dva unášeče. Hlavní, který má větší průměr a je robustnější. Vedlejší, který má menší průměr a je užší. Hlavní unášeč na velké řemenici slouží k převodu točivého momentu ze šlapátek na velkou řemenici. Hlavní unášeč na malé řemenici slouží k přenosu točivého momentu z malé řemenice na spojku a hřídel zadního kola bicyklu. Vedlejší unášeče na obou řemenicích slouží k axiálnímu zajištění hlavního unášeče a lepšímu rozložení obvodových sil na řemenici.

Přenos točivého momentu mezi unášeči a řemenicí je zajištěn drážkováním. Mezi řemenicemi a unášeči je předepsána montážní vůle 0,2 mm. Tato vůle respektuje výrobní nepřesnost zvolené technologie a smrštivost materiálu. Unášeče mohou být vyrobeny některou z dvousouřadnicových řezacích technologií. Např. řezání vodním paprskem.

Ke spojení řemenic a unášeců je použit nýtový spoj. Konkrétně jsou použity 4 trhací nýty u každé řemenice. Nýty jsou usazeny v dírách unášeců a řemenic.



Obrázek 17 – Řez nýtovým spojem

Nýty jsou v podstatě zatíženy jen vlastním předpětím vlivem napěchování. Radiální zatížení zachycuje drážkování v unášecích a řemenici. Nýty mohou být vyrobeny z korozivzdorné oceli nebo z hliníku. Korozivzdorná ocel je pevnější ale vzhledem k nízkému zatížení mohou být použity i nýty hliníkové.

Trhací nýty byly zvoleny z důvodu cenové dostupnosti a jednoduchosti montáže.

3.6. Volba materiálu unášeců

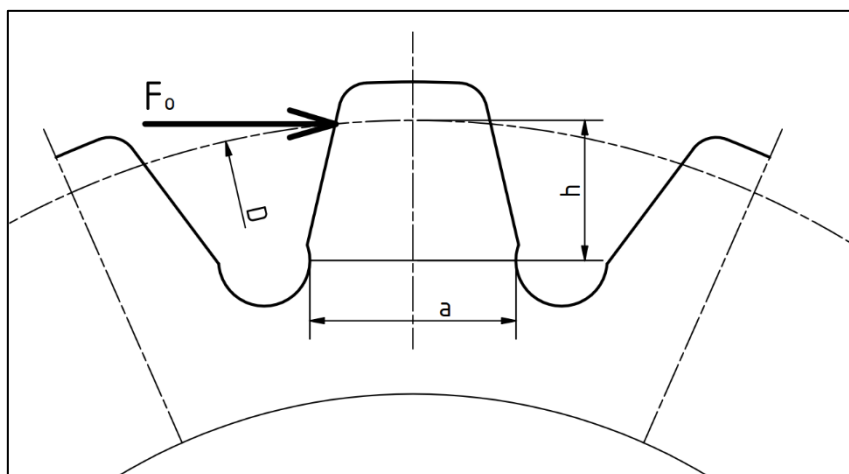
Jako materiál může být použita ocel nebo hliník. Ocel je problémová v její náchylnosti ke korozi. Má také vyšší měrnou hmotnost než hliník. Možností je použití korozivzdorné oceli nebo povrchové úpravy.

U hliníku nastává problém ve spojení s klikami. Hliník je obecně křehký materiál. Při prudkém sešlápnutí by mohlo vlivem dynamiky zatížení dojít k prasknutí. Má také nízkou odolnost proti otlacení. Vlivem toho by po delší době mohlo dojít k vymačkání v oblasti spoje s klikami. Je však možnost použití duralu. Duraly se běžně používají pro mechanicky namáhané díly.

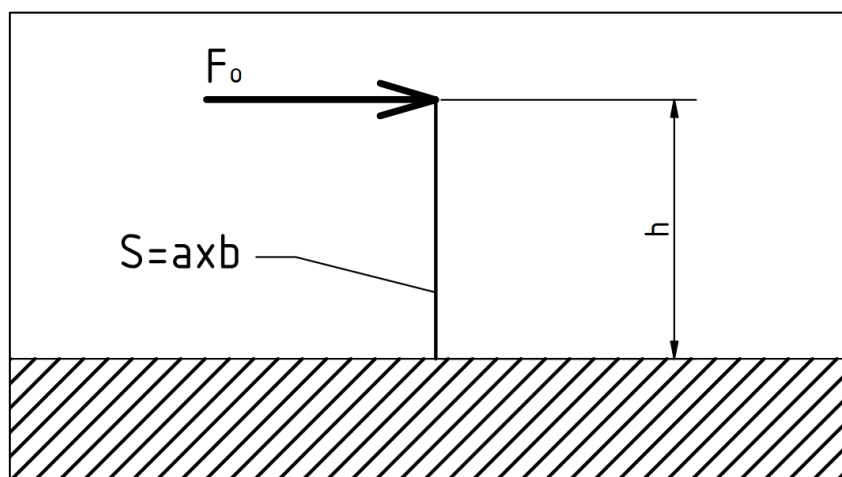
3.7. Výpočet ohybového napětí v patě zubu

Analytický výpočet spočívá v nahrazení zubu nosníkem, jež je namáhán obvodovou silou F_o . Síla působí na rameni h jehož délka je určena vzdáleností mezi patou zubu a válivou kružnicí o průměru D . Průřez paty zubu a také nosníku je definován šířkou paty zubu a , a šířkou řemenice b . Hodnota kroutícího momentu je určena z váhy 120 kg na rameni kliky o délce 180 cm.

Kvůli možnosti prudkého sešlápnutí pedálu, jsou do tohoto výpočtu zavedeny dynamické koeficienty. K_{D1} pro přední řemenici a K_{D2} pro zadní řemenici. Koeficient K_{D1} je vyšší, jelikož vliv dynamiky při prudkém sešlápnutí je na přední řemenici znatelnější. U zadní řemenice dojde vlivem elastických deformací řemene k utlumení rázu. Proto je koeficient K_{D2} nižší.

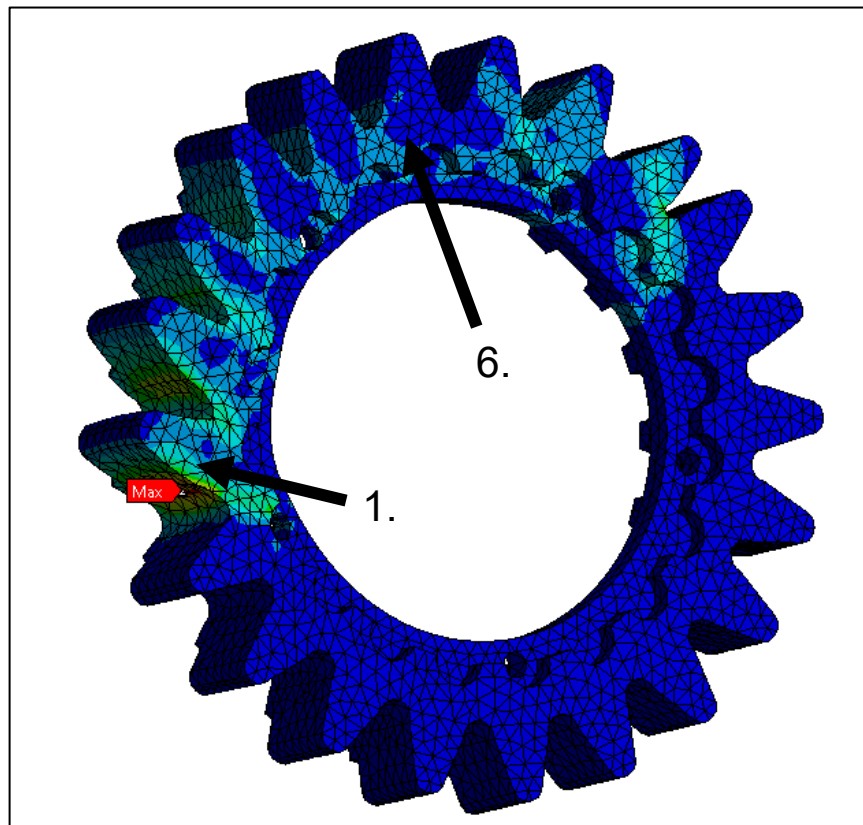


Obrázek 18 – Schéma zatížení zubu řemenice



Obrázek 19 – Výpočtový model zubu řemenice

Dále je zde zaveden koeficient K_N zohledňující nerovnoměrné rozložení sil na zuby zabírající s řemenem. Nejvíce zatížen je první zub řemenice v záběru s řemenem. Další zuby jsou oproti prvnímu zatíženy minimálně. Proto stačí pevnostní výpočet vztáhnout pouze k prvnímu zubu.



Obrázek 20 – Rozložení napětí v zatížené řemenici

Při výpočtu MKP byly použity hodnoty pro vstřikovaný materiál. Proto se výsledky budou lišit od skutečnosti, kdy je řemenice vyrobena technologií 3D tisku.

Mechanické vlastnosti součásti vyrobené na 3D tiskárně jsou ovlivněny mnoha aspekty. Především je nutno brát v potaz:

- Zvolenou technologii 3D tisku
- Tloušťku vrstvy
- Směr nanášení vrstev
- Způsob nanášení vrstev
- Jakým směrem je součást zatěžována (kolmo nebo tečně k naneseným vrstvám)

3.8. Výpočet napětí v patě zubu, přední řemenice, namáhaného ohybem.

3.8.1. Analyticky

$$M_{k1} = 212 \text{ Nm}$$

$$a_1 = 6,378 \text{ mm}$$

$$b = 12,82 \text{ mm}$$

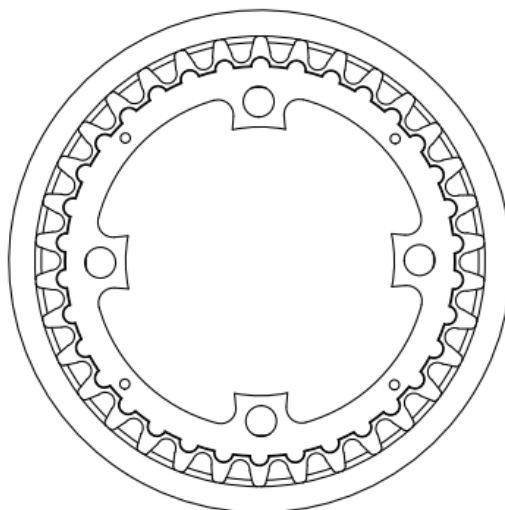
$$D_1 = 145 \text{ mm}$$

$$h_1 = 5,593 \text{ mm}$$

$$z_1 = 16$$

$$K_{D1} = 1,5$$

$$K_N = 1,4$$



Obrázek 21 – Velká řemenice

$$F_{o1} = \frac{M_{k1}}{\frac{D_1}{2}} = \frac{212\,000}{\frac{145}{2}} = 2924 \text{ N} \quad (1)$$

$$F_{z1} = \frac{F_{o1}}{z_1} = \frac{2924}{16} = 183 \text{ N} \quad (2)$$

$$F_{z1max} = F_{z1} \cdot K_{D1} \cdot K_N = 183 \cdot 1,5 \cdot 1,4 = 384 \text{ N} \quad (3)$$

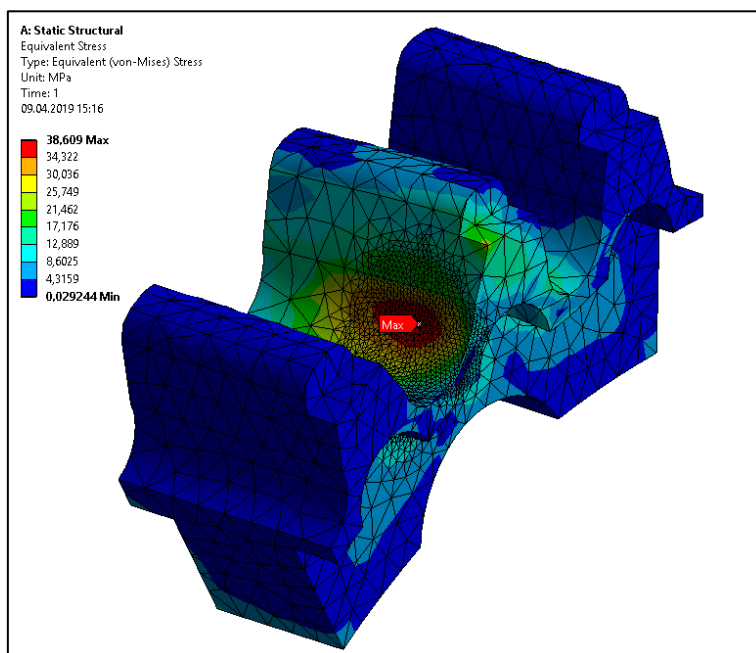
$$M_{o1} = F_{z1max} \cdot h_1 = 384 \cdot 5,593 = 2\,147 \text{ Nmm} \quad (4)$$

$$W_{o1} = \frac{a_1^2 \cdot b}{6} = \frac{6,378^2 \cdot 12,82}{6} = 86,92 \text{ mm}^3 \quad (5)$$

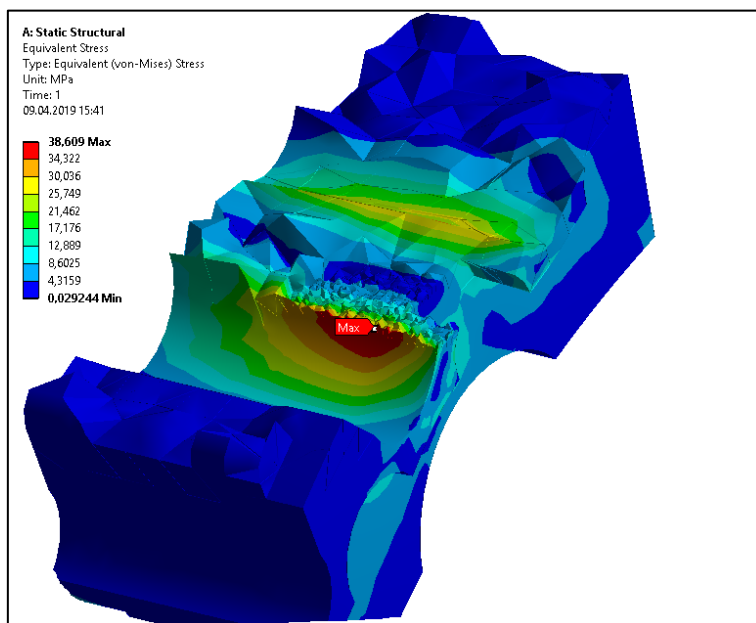
$$\sigma_{o1} = \frac{M_{o1}}{W_{o1}} = \frac{2\,147}{86,92} = 25 \text{ MPa} \quad (6)$$

3.8.2. Metodou konečných prvků

Při výpočtu MKP byly použity hodnoty z analytického řešení. Síla $F_{z1max} = 384 \text{ N}$ působí na valivé kružnici $D_1 = 145 \text{ mm}$ na bok zubu. vzniká napětí $\sigma_{01MKP} = 39 \text{ MPa}$ jež je největší na povrchu boku paty zubu. Výsledek MKP je v porovnání s analytickým výpočtem o 36 % větší. Jako materiál výpočtu jsem použil ABS.



Obrázek 22 – Výpočet ohybu zubu MKP



Obrázek 23 – Výpočet ohybu zubu MKP v řezu

Hodnoty vypočtené na obou řemenicích jsou zobrazeny v tabulce níže.

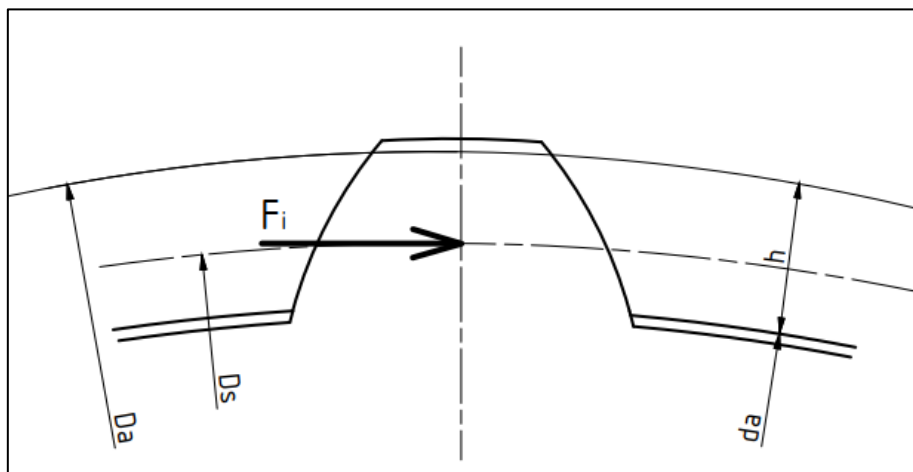
Tabulka 2 – Vstupní a výstupní hodnoty výpočtu ohybu zubu

Veličina	Značení	Přední řemenice ₁	Zadní řemenice ₂
Kroutící moment působící na řemenici	M_k	212 Nm	129 Nm
Šířka paty zubu	a	6,4 mm	7,2 mm
Šířka řemenice	b	12,28 mm	12,28 mm
Valivý průměr	D	145 mm	85 mm
Rameno valivé kružnice vzhledem k patě zubu	h	5,6 mm	8,3 mm
Počet zubů řemenice, na kterém zabírá řemen	z	16	9
Dynamický koeficient	K_D	1,5	1,2
Koeficient nerovnoměrnosti rozložení obvodové síly	K_N	1,4	1,4
Obvodová síla	F_o	2 924 N	3 040 N
Obvodová síla působící na jeden zub	F_z	183 N	337 N
Obvodová síla působící na jeden zub vynásobená koeficienty K_D a K_N	F_{zmax}	384 N	568 N
Ohybový moment vyvolaný F_{zmax} působící na jeden zub	M_o	2 147 Nmm	2 796 Nmm
Průřezový modul v ohybu paty zubu	W_o	87 mm ³	112 mm ³
Ohybové napětí v patě zubu vypočtené analyticky	σ_o	25 MPa	42 MPa
Ohybové napětí v patě zubu spočtené MKP	σ_{oMKP}	39 MPa	55 MPa

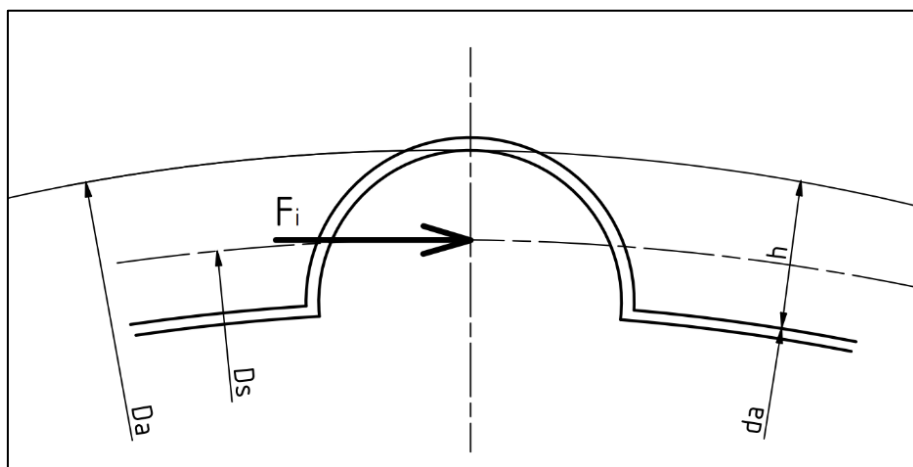
3.9. Výpočet měrného tlaku v drážkovém spoji řemenic

U tohoto výpočtu, bylo vycházeno z výpočtu měrného tlaku ve spoji, realizovaném evolventním drážkováním. Nýty, jimiž je unášec axiálně stabilizován zanedbávám (nepřenáší obvodovou sílu F_i). Předpokládá se, že kroutící moment je rovnoměrně rozložen na oba unášče. Toto je zohledněno použitím n ve jmenovateli, při výpočtu síly F_{1h} . Obvodová síla je přenášena pouze polovičním množstvím drážek. Hodnota kroutícího momentu je určena z váhy 120 kg na rameni kliky o délce 180 cm.

Jsou zde použity i koeficienty K_{D1} a K_{D2} jejichž význam je popsán na straně 8.



Obrázek 24 – Schéma výpočtu měrného tlaku v evolventním drážkování



Obrázek 25 – Schéma výpočtu měrného tlaku v drážkování na řemenicích

3.10. Výpočet měrného tlaku v drážkovém spoji hlavního unášeče a přední řemenice

3.10.1. Analyticky

$$M_{k1} = 212 \text{ Nm}$$

$$D_{a1h} = 134 \text{ mm}$$

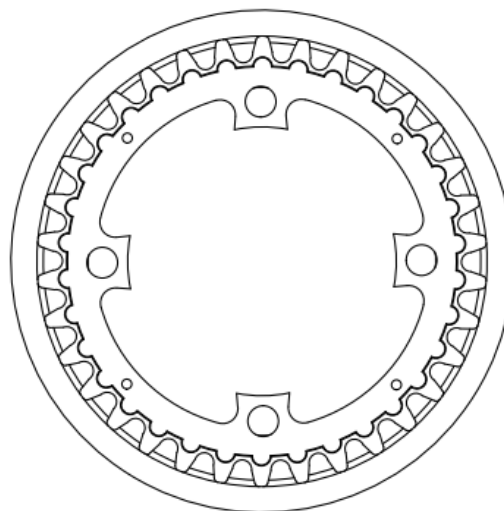
$$d_{a1h} = 128,2 \text{ mm}$$

$$i_1 = 34$$

$$l_1 = 3 \text{ mm}$$

$$h_1 = 2,8 \text{ mm}$$

$$n = 2$$



$$K_{D1} = 1,5$$

Obrázek 26 – Velká řemenice

$$D_{s1h} = \frac{D_{a1h} + d_{a1h}}{2} = \frac{134 + 128,2}{2} = 131,2 \text{ mm} \quad (7)$$

$$F_{1h} = \frac{2 \cdot M_{k1}}{0,5 \cdot i_1 \cdot D_{s1h} \cdot n} = \frac{2 \cdot 212}{0,5 \cdot 34 \cdot 131,2 \cdot 2} = 95 \text{ N} \quad (8)$$

$$F_{1max} = F_{1h} \cdot K_{D1} = 95 \cdot 1,5 = 143 \text{ N} \quad (9)$$

$$p_{1h} = \frac{F_{1max}}{h_1 \cdot l_1} = \frac{2 \cdot F_{1max}}{(D_{a1h} - d_{a1h}) \cdot l_1} = \frac{2 \cdot 143}{(134 - 128,2) \cdot 3} = 17 \text{ MPa} \quad (10)$$

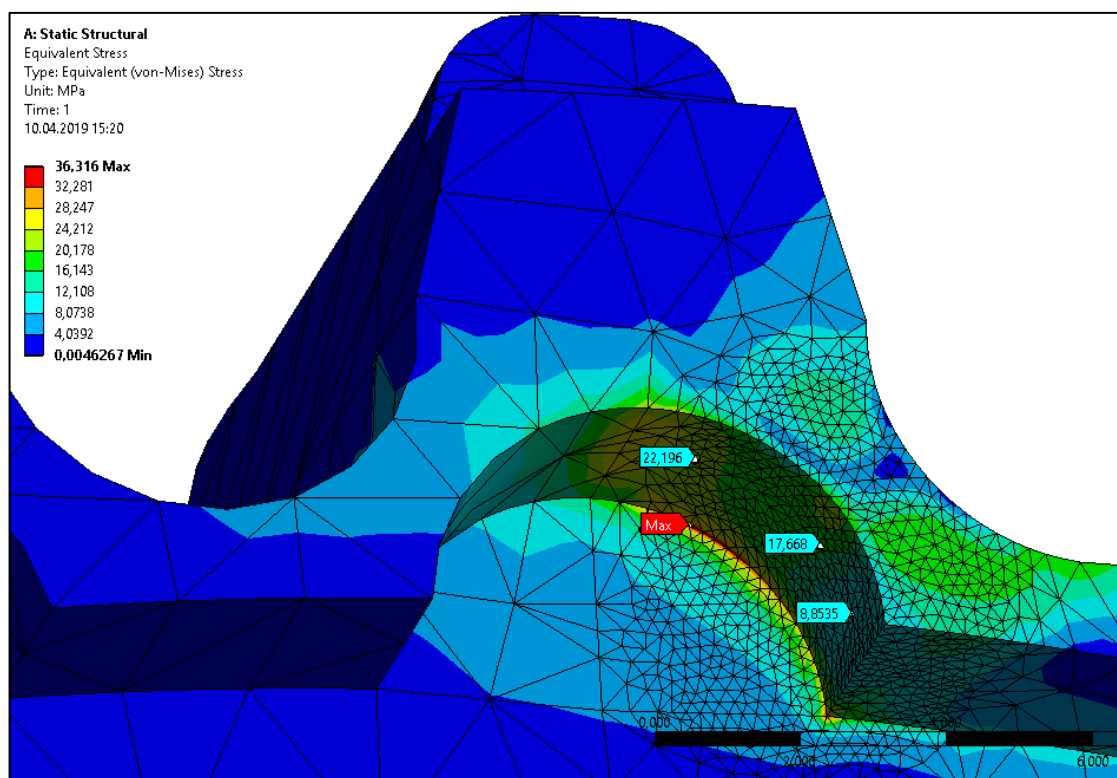
3.10.2. Metodou konečných prvků

U výpočtu měrného tlaku v drážkách MKP, byly použity hodnoty z analytického řešení.

Síla $F_{1max} = 143 \text{ N}$ působí na průměru $D_{s1h} = 131,2 \text{ mm}$ na plochu $h_1 \cdot l_1 = 8,4 \text{ mm}^2$.

Na obrázku lze vidět že maximální napětí (36 MPa) vzniká v přechodu mezi dvěma plochami. Tyto plochy svírají úhel 90° . Dochází zde k tzv. Singularitě kdy při zjemňování sítě, napětí neustále roste. Hodnota tohoto napětí je tedy zavádějící.

Ve stykových plochách unášече a řemenice se měrný tlak p_{1hMKP} pohybuje v rozmezí $8 - 25 \text{ MPa}$. Tyto hodnoty zhruba odpovídají analytickému řešení. Pokud bychom braly v potaz střední hodnotu tak jsou výpočty shodné. Jako materiál výpočtu jsem zvolil ABS.



Obrázek 27 – Výpočet měrného tlaku v drážkování MKP

- Hodnota dovoleného měrného tlaku pro ocelový unášеч je 50 MPa . Dovolенý měrný tlak pro 3D tisknuté ABS nebo PLA je náročný k určení. Proto řemenice budou muset být podrobeny zátěžovému experimentu.

Hodnoty vypočtené na všech řemenicích a unášečích jsou vyobrazeny v tabulce níže.

Tabulka 3 – Vstupní a výstupní hodnoty výpočtu měrného tlaku v drážkování řemenic

Veličina	Značení	Přední řemenice $_1$		Zadní řemenice $_2$	
		Hlavní unášeč $_h$	Vedlejší unášeč $_v$	Hlavní unášeč $_h$	Vedlejší unášeč $_v$
Krouticí moment působící na řemenici	M_k	212 Nm		129 Nm	
Hlavová kružnice unášeče	D_a	134 mm	126 mm	71 mm	63 mm
Patní kružnice řemenice	d_a	128,4 mm	120,4 mm	65,4 mm	57,4 mm
Počet drážek na jedné straně řemenice	i	34	34	21	21
Délka drážky	l	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm
Výška záběru v drážce	h	2,8 mm	2,8 mm	2,8 mm	2,8 mm
Počet unášečů na řemenici	n	2		2	
Dynamický koeficient	K_D	1,5		1,2	
Síla působící na jednu drážku	F	95 N	101 N	181 N	205 N
Síla F vynásobena koeficientem K_D	F_{max}	143 N	152 N	217 N	245 N
Tlak v jedné drážce (analyticky)	p	17 MPa	18 MPa	26 MPa	29 MPa
Tlak v jedné drážce z MKP (střední)	p_{MKP}	17 MPa	20 MPa	28 MPa	33 MPa

4 Závěr

Jelikož jsou řemenice zamýšleny pro prototypovou výrobu, je použita metoda 3D tisku. Pro hromadnou produkci řemenic by byla vhodnější výroba vstřikováním plastů.

V této práci byly jmenovány materiály a technologie použité u metody 3D tisku. Dále byl porovnán řetězový a řemenový převod u jízdních kol.

Tato práce poskytuje konstrukční návrh řemenic a jejich unášeců. Jsou zde uvedeny pevnostní výpočty ozubení řemenic a spojení unášec-řemenice. Při výpočtu napětí v patě zubu vyšla největší hodnota (55 MPa). Z pohledu namáhání je vhodnější volbou materiál PLA jelikož jeho mez kluzu je obecně vyšší než u ABS ($50 \text{ MPa} > 40 \text{ MPa}$). Bezpečnost je v případě PLA 0,91. Kvůli variabilitě mechanických vlastností plastů a součástí vyrobených metodou 3D tisku, bude nutné podrobit díly zátěžovému experimentu. K dílům je poskytnuta výrobní dokumentace.

Cíle této práce byly splněny.

5 Zdroje

- [1] „3D printing industry,“ <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide>. [Online]. [Přístup získán 14. 3. 2019].
- [2] N. K. Liza Wallach Kloski, Začínáme s 3D tiskem, 2017, ISBN 97-80-251-4885-3.
- [3] „MKS techgroup,“ <http://www.mkstechgroup.com/fused-deposition-modeling-fdm/>. [Online]. [Přístup získán 14. 3. 2019].
- [4] J. Homola, „3D tisk,“ <http://www.3d-tisk.cz/3d-tisk/>. [Online]. [Přístup získán 20. 4. 2019].
- [5] R. NOWAK, Rapid prototyping technology: principles and functional requirements, Valley Cottage: Scitus Academics: 2017, ISBN 978-1-68117-537-9.
- [6] C. CHUA, Principles and applications, 2nd ed. Hackensack: World Scientific, 2005, ISBN 3-446-21259-0.
- [7] „Medicaldevice-network,“ <https://www.medicaldevice-network.com/features/3d-printing-in-the-medical-field-applications/>. [Online]. [Přístup získán 10. 2. 2019].
- [8] „Materialpro3d,“ <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/>. [Online]. [Přístup získán 10. 2. 2019].
- [9] „3D tisk,“ <https://www.3dtisk.cz/>. [Online]. [Přístup získán 3. 14. 2019].
- [10] „3D natives,“ <https://www.3dnatives.com/en/plastics-used-3d-printing110420174>. [Online]. [Přístup získán 14. 3. 19].
- [11] „Simplify3d,“ <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/>. [Online]. [Přístup získán 14. 3. 2019].

- [12] „3dhubs,“ <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing-technologies-overview>. [Online]. [Přístup získán 14. 3. 2019].
- [13] GEBHARDT, Rapid Prototyping, CARL HANSER VERLAG: 2003, ISBN 3-446-21259-0.
- [14] „Kylestetzerp.wordpress,“ <https://kylestetzerp.wordpress.com/category/printing-technologies/>. [Online]. [Přístup získán 15. 3. 2019].
- [15] „Wikibooks,“ https://en.wikibooks.org/wiki/Bicycles/Maintenance_and_Repair/Deraileurs/Rear_Deraileur_Adjustment. [Online]. [Přístup získán 20. 3. 2019].
- [16] P. doc. Ing. Květoslav Kaláb, „Části a mechanismy strojů - teorie + projekty,“ 2016.
- [17] „Horska-silnicni-kola,“ http://www.horska-silnicni-kola.cz/Remen-misto-retezu-c18_222_2.htm. [Online]. [Přístup získán 20. 3. 2019].

6 Seznam obrázků

Obrázek 1 – FDM 3D tiskárna [3]	11
Obrázek 2 – Produkty 3D tisku [2]	12
Obrázek 3 – Protéza vyráběná firmou Invisalign [2]	13
Obrázek 4 – Cívka tiskařské struny (filamentu) [2]	14
Obrázek 5 – Popis funkce technologie FDM [12]	18
Obrázek 6 – Popis funkce technologie SLS [12]	20
Obrázek 7 – Řetězový převod jízdního kola [13]	21
Obrázek 8 – Řemenový převod jízdního kola [15]	22
Obrázek 9 – Náboj zadního kola s převodem [15]	22
Obrázek 10 – Návrh řemenového převodu	23
Obrázek 11 – Řemen	24
Obrázek 12 – Požadavky na montáž řemenic	24
Obrázek 13 – Řemenice	25
Obrázek 14 – Vedení řemene	26
Obrázek 15 – Unášče	28
Obrázek 16 – Rozpad přední řemenice	29
Obrázek 17 – Řez nýtovým spojem	30
Obrázek 18 – Schéma zatížení zubu řemenice	31
Obrázek 19 – Výpočtový model zubu řemenice	31
Obrázek 20 – Rozložení napětí v zatížené řemenici	32
Obrázek 21 – Velká řemenice	33
Obrázek 22 – Výpočet ohybu zubu MKP	34

Obrázek 23 – Výpočet ohybu zubu MKP v řezu.....	34
Obrázek 24 – Schéma výpočtu měrného tlaku v evolventním drážkování	36
Obrázek 25 – Schéma výpočtu měrného tlaku v drážkování na řemenicích.....	36
Obrázek 26 – Velká řemenice	37
Obrázek 27 – Výpočet měrného tlaku v drážkování MKP	38

7 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Porovnání vlastností ABS a PLA	28
Tabulka 2 – Vstupní a výstupní hodnoty výpočtu ohybu zubu	35
Tabulka 3 – Vstupní a výstupní hodnoty výpočtu měrného tlaku v drážkování řemenic	39

8 Seznam příloh

Příloha 1 – Sestavní výkres řemenového převodu

Příloha 2 – Montážní výkres řemenového převodu

Příloha 3 – Výrobní výkres velké řemenice

Příloha 4 – Výrobní výkres malé řemenice

Příloha 5 – Výrobní výkres hlavního unášeče malé řemenice

Příloha 6 – Výrobní výkres hlavního unášeče velké řemenice

Příloha 7 – Výrobní výkres vedlejšího unášeče malé řemenice

Příloha 8 – Výrobní výkres vedlejšího unášeče velké řemenice